

**Aperture, e.g. for a scanning probe microscopy sensor element, particle sieve or liquid or gas dosing and-or injection matrix, is produced by etching through an oxide layer in a depression exposed by semiconductor wafer back face etching**

**Patent number:** DE19926601  
**Publication date:** 2000-03-23  
**Inventor:** MIHALCEA CHRISTOPHE (DE); KASSING RAINER (DE); OESTERSCHULZE EGBERT (DE)  
**Applicant:** UNIV GESAMTHOCHSCHULE KASSEL (DE)  
**Classification:**  
- **international:** H01L21/306; H01L49/00; H01J37/28  
- **european:** H01J9/02; B81B1/00H2; G02B27/58; G12B21/02W; H01J37/09  
**Application number:** DE19991026601 19990611  
**Priority number(s):** DE19991026601 19990611; DE19981041909 19980912

**Also published as:**

WO0015544 (A1)  
EP1113980 (A1)  
US6794296 (B1)

*is also enclosed*

**Abstract of DE19926601**

Aperture (10) production in a semiconductor material (12), by etching through an oxide layer (26) in a V-shaped depression (20) exposed by back face etching of a wafer. An aperture (10) is produced in a semiconductor material (12) by (a) etching the surface of a semiconductor wafer, e.g. a (100) silicon wafer, to form a depression (20) having a bottom especially of convex or concave corner or edge curvature; (b) oxidizing the semiconductor material (12) in the region of the depression to form an oxide layer (26) containing an inhomogeneity in the bottom region; (c) selectively back-etching the semiconductor material (12) at the wafer back face until the oxide layer is exposed; and (d) etching through the exposed oxide layer. An Independent claim is also included for an aperture (10) produced in a semiconductor material (12) by the above process.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift

## DE 199 26 601 A 1

51 Int. Cl. 7:  
**H 01 L 21/306**  
H 01 L 49/00  
H 01 J 37/28

21 Aktenzeichen: 199 26 601.8  
22 Anmeldetag: 11. 6. 1999  
43 Offenlegungstag: 23. 3. 2000

DE 199 26 601 A 1

66 Innere Priorität:  
198 41 909. 0 12. 09. 1998

71 Anmelder:  
Universität Gesamthochschule Kassel, 34121  
Kassel, DE

74 Vertreter:  
Müller, E., Dipl.-Phys. Dr.phil.nat., Pat.-Anw., 65597  
Hünfelden

72 Erfinder:  
Kassing, Rainer, Prof. Dr., 34128 Kassel, DE;  
Mihalcea, Christophe, Dr., 34119 Kassel, DE;  
Oesterschulze, Egbert, Dr., 34134 Kassel, DE

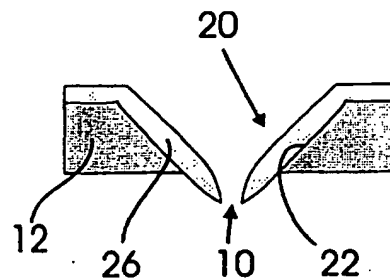
### Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Apertur in einem Halbleitermaterial sowie Herstellung der Apertur und Verwendung

57 Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Apertur (10) in einem Halbleitermaterial (12), mit folgenden Schritten beschrieben:

Bereitstellen eines Halbleiterwafers (14), beispielsweise eines (100)-orientierten Siliziumwafers mit einer Oberfläche (16) und einer Unterfläche (18), Erzeugen einer Vertiefung (20) mit einer Seitenwand (22) in der Oberfläche (16) des Halbleiterwafers (14) durch partielles Anätzen der Oberfläche (16), wobei die Vertiefung (20) einen der Unterfläche (18) zugewandten, geschlossenen Bodenbereich (24) bevorzugt mit insbesondere einer konvexen oder insbesondere einer konkaven Ecke oder Kante oder dergleichen Krümmung aufweist. Nach Aufbringen einer Oxidschicht (26) auf dem Halbleitermaterial (12) wenigstens im Bereich der Vertiefung (20) durch Oxidation des Halbleitermaterials (12), wobei die Oxidschicht (26) im Bodenbereich (24) bevorzugt eine Inhomogenität (28) aufweist, wird das Halbleitermaterial (14) an der Unterfläche (18) des Halbleiterwafers (14) selektiv bis zum Freilegen wenigstens der im Bodenbereich (24) befindlichen Oxidschicht (26) rückgeätzt. Anschließend wird die freigelegte Oxidschicht (26) bis wenigstens zu deren Durchtrennung angeätzt. Weiterhin sind auch eine insbesondere nach diesem Verfahren hergestellte Apertur (10) in einem Halbleitermaterial (12) sowie verschiedene Verwendungen einer solchen Apertur (10) beschrieben (Figur 3).



DE 199 26 601 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Apertur in einem Halbleitermaterial, wie zum Beispiel (100)-orientiertes oder polykristallines Silizium. Derartige Aperturen, deren Größe im Mikrometerbereich oder darunter liegen, werden beispielsweise als Bestandteil von Sonden der optischen Raster-Nahfeld-Mikroskope (SNOM) eingesetzt. Mit dieser Technik können optische Oberflächeneigenschaften mit Subwellenlängen-Auflösung untersucht werden. Wie bei allen Raster-Sonden-Mikroskopen wird die erzielbare Auflösung auch beim optischen Raster-Nahfeld-Mikroskop durch die Geometrie und Abmessung der Sonde, das heißt insbesondere der Apertur, sowie deren Abstand zur Probenoberfläche limitiert. Um Subwellenlängen-Auflösung zu erreichen, ist es erforderlich, daß der lichtemittierende oder detektierende Bereich der Sonde laterale Abmessungen unter 100 nm aufweisen. Im Stand der Technik hat es nicht an Versuchen gefehlt, derartig kleindimensionierte Aperturen im 100 nm-Bereich beziehungsweise darunter reproduzierbar herzustellen. Ein aus dem Stand der Technik bekanntes Verfahren ist in Fig. 6 schematisch dargestellt. In Fig. 6a ist der Querschnitt durch einen Halbleiterwafer 14 wiedergegeben, der eine Oberfläche 16 und eine Unterfläche 18 aufweist. In der Oberfläche 16 sind eine Mehrzahl von Vertiefungen 20, beispielsweise in Form einer inversen Pyramide 30, durch bevorzugt anisotropes Ätzen eingebracht. Anschließend wird die Unterfläche 18 des Halbleiterwafers 14, der beispielsweise aus (100)-orientiertem Silizium besteht, durch insbesondere anisotropes Ätzen rückgeätzt, bis die Spitzen der inversen Pyramiden freigelegt sind und somit eine Apertur 10 entsteht, wie dies in Fig. 6b, erste und zweite Darstellung, schematisch dargestellt ist. Die erste Apertur weist eine zu große Öffnungsweite auf, die zweite Apertur besitzt eine ideale Öffnungsweite, während für das dritte Beispiel die Spitze der inversen Pyramide überhaupt noch nicht geöffnet ist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Dicke des Halbleiterwafers stark variiert. Bereits Dicken Schwankungen von einigen 10 nm können zu den in Fig. 6 dargestellten Schwankungen des Durchmessers beziehungsweise Querschnitts der Apertur führen. Dieses Beispiel nach dem Stand der Technik verdeutlicht, daß aufgrund der Schwankungen der Dicke des Halbleiterwafers 14 nur sehr wenige Spitzen der inversen Pyramiden geeignete Aperturgrößen besitzen. Außerdem streuen die Abmessungen dieser Apertur äußerst stark.

Weiterhin haben aus dem Stand der Technik bekannte Untersuchungen zum Oxidationsverhalten von Silizium (Markus et al., Journal of the Electrochemical Society, Solid State Science and Technology, pp 1278-1282, 1982 beziehungsweise Kao et al., IEEE Transactions on Electronic Devices, Volume 34, No. 5, pp 1008, 1987 sowie Volume 35, No. 1, pp 25, 1988) eine starke Abhängigkeit von der Orientierung in der Ebene des Halbleiterwafers von der Temperatur und der Struktur der Oberfläche ergeben. Es konnte nachgewiesen werden, daß bei niedrigen Oxidationstemperaturen von etwa 800°C bis 900°C die Oxidschichtdicke an konvexen und konkaven Kanten der strukturierten Oberfläche, zum Beispiel bei Trenchzellen, gegenüber der Oxidschichtdicke auf der Oberfläche reduziert ist. Diese Erkenntnisse wurden bereits dazu benutzt, sehr scharfe Siliziumspitzen herzustellen (Marcus et al, Applied Physics letters, 54 (3), pp 236-238, 1990). Dabei konnten Krümmungsradien im Bereich von etwa 1 nm erreicht werden. Ein ähnliches Verfahren zur Herstellung von sehr scharfen Siliziumspitzen für in der Rastersondenmikroskopie verwendete sogenannte Cantileversonden ist in der EP-A-0468071 beschrieben.

Ausgehend von einem Verfahren zur Herstellung einer

Apertur in einem Halbleitermaterial mit den Schritten Bereitstellen eines Halbleiterwafers, beispielsweise eines (100)-orientierten Siliziumwafers mit einer Oberfläche und einer Unterfläche und Erzeugen einer Vertiefung mit einer Seitenwand in der Oberfläche des Halbleiterwafers durch partielles Anätzen der Oberfläche, liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer Apertur zu schaffen, deren Größe unterhalb von ca. 1 Mikrometer, insbesondere bei ca. 100 nm liegt, wobei die Größe der Apertur reproduzierbar einstellbar ist.

Diese Aufgabe wird bei dem Verfahren mit den eingangs erwähnten Merkmalen im wesentlichen dadurch gelöst, daß die Vertiefung einen der Unterfläche zugewandten, geschlossenen Bodenbereich bevorzugt mit insbesondere einer konvexen oder insbesondere einer konkaven Ecke oder Kante oder dergleichen Krümmung aufweist, eine Oxidschicht auf das Halbleitermaterial wenigstens im Bereich der Vertiefung durch Oxidation des Halbleitermaterials aufgebracht wird, wobei die Oxidschicht wenigstens im Bodenbereich eine Inhomogenität aufweist, das Halbleitermaterial an der Unterfläche des Halbleiterwafers bis zum Freilegen wenigstens der im Bodenbereich befindlichen Oxidschicht selektiv rückgeätzt wird und die freigelegte Oxidschicht bis wenigstens zu deren Durchtrennung angeätzt wird.

Das Verfahren weist den besonderen Vorteil auf, daß die Messung der Größe der Apertur unabhängig von Schichtdickenvariationen des Halbleiterwafers ist. Dies hat zur Folge, daß die herzustellenden Aperturen äußerst reproduzierbar zu fertigen sind und demzufolge beispielsweise beim Einsatz bei Sonden in der optischen Rasternahfeldmikroskopie neue Anwendungsgebiete und Auflösungen erschließen können.

Zur Herstellung von Aperturen in halbleitenden Materialien, zum Beispiel in (100)-orientiertem einkristallinem Silizium oder polykristallinem Silizium, werden eine Reihe von Verfahrensschritten angewandt. Zunächst werden insbesondere pyramidale oder sonstige Vertiefungen geformt, die in der Tiefe spitz zulaufen und in das Halbleitermaterial eingeätzt werden. Dazu sind Maskierungsschichten auf der Oberfläche des Halbleiterwafers aufgebracht. Durch optische oder Elektronenstrahl-Lithographie und anschließende, chemische, elektrochemische oder Plasmaätzverfahren werden die erforderlichen Strukturen in die Maskierungsschicht übertragen. Die Ätzung der Vertiefungen erfolgt durch naßchemische oder Plasmaätzverfahren. Alternativ können die Vertiefungen auch durch einen fokussierten Ionenstrahl erzeugt werden. In einem weiteren Schritt wird das Halbleitermaterial oxidiert, wobei die entstehende Oxidschichtdicke variiert in Abhängigkeit von der Kristallorientierung, der Oxidationstemperatur und der Krümmung der jeweiligen, lokalen Struktur der Oberfläche des Halbleiterwafers. Bei Wahl geeigneter Oxidationstemperaturen weist die Oxidschicht an den Stellen größter Krümmung aufgrund von Streffeffekten eine erhöhte Ätzrate auf, das heißt, daß die Oxidschicht beispielsweise für den Fall einer spitz zulaufenden Vertiefung im Spitzenbereich eine oder mehrere bezüglich der Ätzprozesse "Schwachstellen" aufweist. In einem weiteren Schritt wird die gegebenenfalls während des Oxidationsprozesses auf der Unterfläche des Halbleiterwafers entstandene Oxidschicht mit bekannten Techniken entfernt. Anschließend wird durch naßchemisches Ätzen oder Plasmaätzen das Halbleitermaterial an der Unterfläche zurückgeätzt, bis schließlich die Spitze der in der Vertiefung befindlichen Oxidschicht freigelegt ist. Wichtig ist, daß hierbei eine selektive Ätzmethode angewendet wird, um auch eine Ätzung der Oxidschicht völlig oder jedenfalls weitestgehend zu vermeiden. Das Rückätzen des Halbleitermaterials wird solange durchgeführt, bis die eine oder sämtliche Oxid-

schichten beispielsweise eine Anzahl von Vertiefungen freigelegt sind. Dabei kann es aufgrund von Dickschwankungen des Halbleiterwafers durchaus vorkommen, daß die ggf. mehreren Spitzen der Oxidschicht mehr oder minder weit aus der Unterfläche des Halbleiterwafers herausragen. Dies ist jedoch insoweit unproblematisch für die Bemessung der Größe der Apertur, als die mehr oder minder weit herausragenden Spitzen der Oxidschicht jedenfalls in Bezug auf die Dicke und Form der Oxidschicht untereinander im wesentlichen die gleiche Form aufweisen und insbesondere im Bereich der Spitze jeweils ein oder mehrere Schwachstellen besitzen. Anschließend wird die Oxidschicht mit einer gegenüber dem Material der Oxidschicht selektiven Ätze abgedünnt, bis an den "Schwachstellen" der Oxidschicht die Oxidschicht durchbrochen wird und die gewünschten Aperturen in den Oxidstümpfen entstehen. Sofern keine größeren Aperturen erwünscht sind, wird der Ätzprozeß anschließend abgebrochen.

Durch dieses Verfahren werden somit miniaturisierte Aperturen wohldefinierter Größe auf dem ganzen Halbleiterwafer erzeugt. Wird der Ätzprozeß jedoch weiter fortgesetzt, wird auch der Stumpf der Oxidschicht weiter geätzt, so daß man Aperturen mit über die Dauer des Ätzvorganges einstellbarer Größe erhält.

Des weiteren besteht auch die Möglichkeit, die erzeugten Vertiefungen im Bodenbereich mit einer Schneide beziehungsweise einem Plateau zu versehen, so daß durch den beschriebenen Prozeß auch zwei beziehungsweise vier Öffnungen pro Vertiefung in der Oxidschicht im Bereich deren Spitze erzeugt werden können.

Der Reproduzierbarkeit des Verfahrens liegt die Erkenntnis zugrunde, die speziellen Oxidationseigenschaften beispielsweise von (100)-orientierten Siliziumwafern für die Herstellung von reproduzierbaren Aperturen gleicher Größe über die ganze Substratoberfläche trotz schwankender Substratdicke auszunutzen. Dazu wird das die Vertiefung tragende Substrat bei etwa 800°C bis 900°C oxidiert, so daß es zur Ausbildung einer Oxidschichtdicke mit inhomogener Ätzrate und auch Schichtdicke kommt. Das Oxid ist an den Stellen größter Krümmung am dünnsten, das heißt, daß die verdünnten Oxidschichtabschnitte im Bereich der Spitze der Vertiefungen angeordnet sind. Die Oxidschichten in den mehreren Vertiefungen werden durch selektives Rückätzen des Halbleitermaterials an der Unterfläche des Halbleiterwafers freigelegt, wobei die Oxidschicht durch diesen Verfahrensschritt nicht oder nur geringfügig angegriffen wird. In dieser Phase des Herstellungsverfahrens weisen alle durch die Oxidschicht abgeformten Vertiefungen exakt die gleiche Oxidschichtstruktur auf. Insbesondere ist die Oxidschichtstruktur unabhängig von Dickenvariationen des Halbleitermaterials. Alle im wesentlichen identischen, freigelegten Spitzen der Oxidschicht können in einem anschließenden Schritt mit einer selektiven Ätze abgedünnt beziehungsweise abgetragen werden, bis die Oxidschicht aller Spitzen jeweils an der gleichen Stelle, nämlich der Schwachstelle der Oxidschicht, durchbrochen wird und die Spitze der Oxidschicht abfällt. Hierdurch werden in sämtlichen Oxidstümpfen Aperturen mit praktisch gleicher Größe über die ganz Oberfläche des Halbleiterwafers erhalten.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weisen die Vertiefungen die Form einer inversen Pyramide oder eines V-förmigen Grabens oder eines inversen Pyramidenstumpfes oder eine Plateauform auf.

Insbesondere sind die Vertiefungen in einer Vielzahl, zum Beispiel in Form eines Arrays, auf der Oberfläche des Halbleiterwafers angeordnet.

Von besonderem Vorteil weist die Oxidschicht im Bodenbereich als Inhomogenität eine oder mehrere Schwachstel-

len beziehungsweise Öffnungen auf.

Von Vorteil wird die Oberfläche der Oxidschicht nach dem Durchtrennen einem Metallisierungsprozeß, insbesondere mit Aluminium, unterworfen. Hierdurch besteht die Möglichkeit, die in der Oxidschicht bereits vorhandene Apertur gezielt zu verkleinern. Eine Metallisierung sorgt auch für eine Verbesserung der optischen Eigenschaften eines mit einer solchen Apertur ausgestatteten Sensors.

Der Durchmesser der Apertur liegt von Vorteil in der Größenordnung von ca. 100 nm oder weniger.

Die Vertiefungen werden nach einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens bevorzugt durch anisotropes Ätzen erzeugt.

Die Oxidschicht wird durch Erhitzen des Halbleiterwafers auf ca. 900°C, insbesondere in feuchter Atmosphäre und bevorzugt für ca. 2 Stunden erzeugt.

Das selektive Rückätzen des Halbleitermaterials erfolgt isotrop oder anisotrop zum Beispiel mittels einer KOH-Lösung, insbesondere ca. 40 Gew.-%, bei bevorzugt ca. 60°C.

Das selektive Rückätzen des Halbleitermaterials erfolgt bevorzugt solange, bis die Oxidschichten bevorzugt im wesentlichen aller oder wenigstens einer Mehrzahl der Vertiefungen des Halbleiterwafers freigelegt sind.

Das Anätzen der freigelegten Oxidschicht wird bevorzugt mit Ammoniumfluoridpuffer, insbesondere 1 Puffer : 16 Wasser, durchgeführt.

Die Größe der Apertur wird im wesentlichen durch die Dauer des Anätzens der Oxidschicht nach deren Durchtrennung hin zu größeren Werten variiert.

Nach einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung sind die Vertiefungen schneidenförmig beziehungsweise plateauförmig zulaufend ausgebildet, wobei je Vertiefung zwei beziehungsweise vier Aperturen hergestellt werden.

Die Erfindung betrifft auch eine Apertur in einem Halbleitermaterial, insbesondere hergestellte nach einem der Verfahrensansprüche, wobei die Apertur durch eine auf einer Innenwandung einer Durchbrechung im Halbleitermaterial befindlichen Oxidschicht gebildet ist.

Nach einer Ausgestaltung der Erfindung ist auf die Oxidschicht eine Halbleiterschicht und/oder eine organische Materialschicht und/oder eine Metallschicht, insbesondere eine Aluminiumschicht, aufgebracht.

Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, daß die Oxidschicht aus einem Oxid des Halbleitermaterials gebildet ist.

Die Erfindung betrifft auch eine Verwendung einer Apertur, die dadurch gekennzeichnet ist, daß das Halbleitermaterial mit der Apertur insbesondere in dem vorderen Bereich eines einseitig eingespannten Biegebalkens, insbesondere eines sogenannten Cantilevers, integriert sind.

Dabei besteht eine vorteilhafte Ausgestaltung der Verwendung darin, daß der Biegebalken einzeln oder eine Mehrzahl von Biegebalken in einer Matrixanordnung als Sensorelement eingesetzt sind.

Nach einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung werden der oder die Biegebalken als Sensorelemente in der Rastersondenmikroskopie eingesetzt.

Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, daß durch Deposition einer dünnen, optisch wenig transparenten Schicht der oder die Biegebalken für die simultane Rasterkraftmikroskopie (AFM, SFM) oder die optische Rasternahfeldmikroskopie (SNOM) eingesetzt werden, wobei bei einer Beleuchtung der Apertur von der Oberfläche des Halbleiterwafers die Apertur als miniaturisierte Lichtquelle im optischen Nahfeldbereich eingesetzt (sogenannter Illuminationmode) oder durch die Apertur selbst Lichtleistung von der beleuchteten Probe aufgenommen wird (sogenannter Collectionmode).

Durch sequentielle Deposition von Materialien, wie Me-

tall, Halbleiter, Polymere auf der- und/oder Rückseite des Biegebalkens wird eine miniaturisierte Kontaktstelle der Materialien an der Stelle der Apertur erhalten.

Eine weitere vorteilhafte Verwendung besteht darin, daß eine matrixförmige Anordnung der Aperturen beispielsweise in Form eines Arrays auf planen Substraten beziehungsweise strukturierten Oberflächen (zum Beispiel Cantilevern) zur Größensortierung von Partikeln nach Art eines Siebes eingesetzt wird.

Eine weitere Verwendung zeichnet sich dadurch aus, daß eine insbesondere matrixförmige Anordnung einer oder mehrerer Aperturen auf planen Substraten oder auf strukturierten Oberflächen (zum Beispiel Cantilevern) für die Dosierung und/oder Injektion von exakten, sehr kleinen Flüssigkeits- oder Gasmengen eingesetzt wird.

Weitere Merkmale, Vorteile, Anwendungsmöglichkeiten und Ziele der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der vorliegenden Erfindung, auch unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung.

Es zeigen:

**Fig. 1** einen Querschnitt durch eine anisotrop geätzte Grabenstruktur mit aufgebracht Oxidschicht,

**Fig. 2** in vergrößertem Maßstab einen Querschnitt durch die oxidierte Grabenstruktur der **Fig. 1**, nachdem das Oxid um 75 nm angeätzt wurde,

**Fig. 3** eine schematische Darstellung zweier Spitzen der Oxidschicht nach der Ätzung, wobei der angenommene Dickenunterschied des Halbleiterwafers gemäß **Fig. 3a, b** zu freien Oxidspitzen führt, die unterschiedlich weit aus dem verbleibenden Halbleitermaterial herausragen, aber eine gleichgroße Apertur von ca. 150 nm aufweisen und **Fig. 3c** eine Verkleinerung der Apertur durch einen folgenden Metallisierungsprozeß in schematischer Darstellung,

**Fig. 4** REM-Aufnahmen oxidierten, inverser Pyramidenarrays, bei denen sämtliche Verfahrensschritte durchgeführt wurden. In **Fig. 4a** ragen die Oxidspitzen ca. 4 Mikrometer aus dem verbleibenden Halbleitermaterial heraus, während in **Fig. 4b** die Spitzen um ca. 6 Mikrometer aufgrund des längeren Ätzens des Halbleitermaterials herausstehen. Hierdurch wurde ein Dickenunterschied des Halbleiterwafers quasi simuliert. Die **Fig. 4c** und **4d** sind vergrößerte Darstellungen der äußersten Spitze einer inversen Pyramide des darüberliegenden Arrays gemäß **Fig. 4a, b**. Die Aperturen weisen Durchmesser von ca. 160 nm auf und sind weitestgehend identisch,

**Fig. 5** gibt eine schematische Darstellung der einzelnen Prozessschritte für die Apertursensorherstellung wieder und

**Fig. 6** ist eine schematische Darstellung der Aperturerzeugung nach dem bekannten Stand der Technik.

Das Verfahren gemäß **Fig. 6** nach dem Stand der Technik zur Erzeugung von Aperturen **10** ist, wie bereits in der Einleitung dargestellt, äußerst sensibel auf Dickschwankungen des Halbleiterwafers **14**, die unabhängig von dem Herstellungsverfahren die Größe der Aperturen **10** beeinflussen. Diese Dickschwankungen sind in **Fig. 6a** durch die wellenförmige Unterfläche **18** des Halbleiterwafers **14** angedeutet. Nach dem anisotropen Ätzen der Unterfläche **18** ist die in **Fig. 6b** linke Pyramidenspitze der inversen Pyramide **30** sehr weit zu einer Apertur **10** geöffnet, weil der Halbleiterwafer **14** an dieser Stelle dünner ist als in dem nachfolgenden mittleren Bereich. Dort ist die Dicke des Halbleiterwafers **14** in der schematischen Darstellung der **Fig. 6** gerade so gewählt, daß eine ideal kleine Apertur **10** entsteht. Demgegenüber ist die Dicke des Halbleiterwafers **14** im rechten

Bereich der **Fig. 6b** so, daß der anisotrope Ätzvorgang an der Unterfläche **18** überhaupt nicht zu einer Apertur führt. Dieses Beispiel eines Verfahrens nach dem Stand der Technik soll erläutern, daß Dickenvariationen des Halbleiterwafers **14** unmittelbar und nicht kontrollierbar in die herzustellende Größe der Apertur **10** eingehen.

Die **Fig. 1** und **2** zeigen Querschnitte durch eine Grabenstruktur in einem (100)-orientierten, bor-dotierten Siliziumwafer. Dazu wird der Siliziumwafer zunächst mit einer wenige 100 nm dicken Oxidschicht versehen und anschließend lithographisch strukturiert, bevor die Gräben anisotrop geätzt werden. Die gewünschte Spitzenhöhe des Apertursensors soll ca. 15 Mikrometer betragen, so daß die Basisbreite der Gräben von 8 Mikrometer bis 30 Mikrometer gewählt wird und die Tiefe der Gräben Werte zwischen 5 bis 6 Mikrometer und 21 Mikrometer annimmt. Nach dem anisotropen Ätzschritt wird das auf der Oberfläche verbliebene Oxid mit verdünnter Flußsäure entfernt. Vor dem eigentlichen Oxidationsprozeß wird eine optische Inspektion des Siliziumwafers durchgeführt. Kontaminierte Siliziumwafer werden einer Standard-RCA-Reinigung unterzogen, die Auswirkung auf die Qualität der anschließend erzeugten thermischen Oxide hat.

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wird die Reinigung immer durch kurzen Eintauchen des Siliziumwafers in stark verdünnte Flußsäure (1 HF : 50 H<sub>2</sub>O) und anschließendes gründliches Spülen mit vollentsalztem Wasser (Widerstand: 15 M $\Omega$ cm) beendet. Der Siliziumwafer wird unmittelbar anschließend in den Oxidationsofen überführt und bei ca. 900°C in feuchter Atmosphäre für ca. 2 Stunden oxidiert. Diese Vorgehensweise läßt die größten Streßeffekte und damit auch die inhomogenste Oxidschichtdicke erwarten.

Um Aussagen bezüglich der Oxidkonturen zu erhalten, wird der Siliziumwafer quer zu der Grabenstruktur gebrochen und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Zur Erhöhung des Kontrastes zwischen Oxidschicht **26** und Halbleitermaterial **12**, beispielsweise Silizium, wird letzteres selektiv gegenüber der Oxidschicht **26** um wenige Mikrometer zurückgeätzt. Erwartungsgemäß ist die Oxidschicht auf der (111)-Wand am dicksten und zeigt Inhomogenitäten **28**, insbesondere Schwachstellen an den Ecken, an denen die Oxidschichtdicke kleiner ist als auf der planaren (100)-orientierten Oberfläche. Die Oxidschicht **26** an den konvexen Ecken ist in der Regel dicker als die Oxidschicht an der konkaven Ecke an der Spitze der inversen Pyramide **30**. Die Inhomogenität **28** beziehungsweise Verdünnung liegt nicht direkt unterhalb der konkaven Ecke, sondern ist in zwei Bereichen links und rechts der eigentlichen Spitze angesiedelt. Auf dem Weg zur Herstellung der Apertur **10** wird die Oxidschicht in der Grabenstruktur in einem folgenden Schritt isotrop um 75 nm abgedünnt. Anschließend wird die Probe erneut gebrochen und das Halbleitermaterial **12** beziehungsweise Silizium zur Kontrastverbesserung um wenige Mikrometer weggeätzt. In **Fig. 2** ist das Ergebnis im Anschluß an diesen Ätzvorgang dargestellt. Da der Ätzvorgang isotrop durchgeführt wird, erscheint der Bereich an der Spitze der Pyramide auf ca. 150 nm aufgeweitet, das heißt ca. 75 nm in jede Richtung. Dabei sind die Inhomogenitäten **28** beziehungsweise Schwachstellen noch deutlicher ausgeprägt als vor dem Ätzvorgang entsprechend **Fig. 1**.

Diese Profile der Oxidschicht **26** gemäß den **Fig. 1** und **2** können zur Herstellung einer Apertur **10** genutzt werden, wenn es gelingt, die Bodenbereiche **24** beziehungsweise die Spitzen der inversen Pyramiden **30** der Oxidschicht **26** freizulegen und diese dann vorsichtig isotrop zu ätzen, bis die Inhomogenitäten **28** beziehungsweise die Schwachstellen der Oxidschicht **26** durchtrennt, jedoch die Seitenwände **22**

der Pyramidenwände noch erhalten sind. Um die pyramidenförmige Oxidschicht 26 freizulegen, wird in einem nächsten Schritt das Halbleitermaterial 12 zurückgeätzt. Das Ätzen wird dann abgebrochen, wenn alle Spitzen der Oxidschicht 26 aus der verbleibenden dünnen Schicht Halbleitermaterials 12 herausragen. Da die Oxidätzrate in KOH wesentlich kleiner ist als die Ätzrate in Silizium (Oxid: 0,06 Mikrometer/h, Silizium: 19,9 Mikrometer/h; 40 Gew.-% KOH, 60°C), wird die Oxidschicht 26 bei diesem Schritt durch das selektive Ätzen des Halbleitermaterials 12 nicht oder nur geringfügig angegriffen. Für 20 Mikrometer hohe Pyramiden, die vollständig freigeätzt werden, wird die äußerste Spitze der Oxidpyramide gegenüber der Basis lediglich um ca. 60 nm abgedünnt, weil sie der Ätzflüssigkeit KOH entsprechend länger ausgesetzt ist. Für Substratdickenschwankungen von 5 Mikrometer resultieren Oxiddickenschwankungen einzelner Pyramiden von lediglich 50 nm, wenn die Oxidätzrate einer 40 Gew.-% KOH bei 60°C zugrundegelegt wird. Anschließend wird in einem folgenden Schritt die Oxidpyramide vorsichtig isotrop um wenige Nanometer geätzt, so daß die Inhomogenitäten 28 beziehungsweise Schwachstellen oder Verjüngungen der Oxidschicht 26 durchtrennt werden können, wodurch Aperturen 10 entstehen, deren Abmessungen trotz Dickeschwankungen des Halbleiterwafers 14 äußerst reproduzierbar einstellbar sind.

In Fig. 3 ist dieser Sachverhalt schematisch verdeutlicht. Aus der Geometrie der Dicke der Oxidschicht 26 gemäß Fig. 2 ist zu erkennen, daß sich geringe Schwankungen der Oxidschichtdicke an der Spitze der inversen Pyramide 30 praktisch nicht auf die entstehende Größe der Apertur 10 auswirken.

Insbesondere bei der Anwendung derartiger Aperturen 10 in optischen Nahfeldsensoren ist in der Regel eine Metallisierung notwendig, die in Fig. 3c als Metallschicht 36 bestehend aus insbesondere Aluminium dargestellt ist. Diese Aufbringung der Metallschicht kann zu einer weiteren Verringerung der Abmessungen der Apertur 10 genutzt werden. Aus Fig. 3a und b wird ersichtlich, daß unterschiedliche Dicken des Halbleiterwafers 14 einen Einfluß auf den Durchmesser beziehungsweise die Größe der Apertur 10 nicht ausüben. Dabei ist die Variation der Schichtdicke durch die seitlich des Halbleitermaterials 12 angeordneten Pfeile verdeutlicht, wobei trotz variierender Schichtdicke der Durchmesser der Apertur 10 unverändert ist.

In Fig. 4 sind REM-Aufnahmen oxidiert inverser Pyramiden-Arrays dargestellt, bei denen alle notwendigen Schritte zur Erzeugung der Aperturen 10 durchgeführt sind. Die Pyramiden-Arrays, bei denen die Vertiefungen 20 in gleichmäßigen seitlichen Abständen positioniert sind, werden wie beschrieben oxidiert, angeätzt und so freigelegt, daß Bodenbereiche 24 der Oxidschicht 26 vorhanden sind, die aus dem verbleibenden Halbleitermaterial 12 unterschiedlich weit – je nach Dickenschwankung des Halbleitermaterials 12 beziehungsweise des Halbleiterwafers 14 – herausstehen. Um die Aperturen 10 zu erzeugen, werden die Oxidschichtpyramiden vorsichtig angeätzt, bis die Aperturen 10 aufgrund eines Durchtrennens der Inhomogenitäten 28 beziehungsweise der Schwachstellen der Oxidschicht 26 entstehen. In Fig. 4a stehen die Spitzen der Oxidschicht 26 ca. 4 Mikrometer aus der Unterfläche 18 heraus. In Fig. 4b stehen die Spitzen ca. 6 Mikrometer aus der Unterfläche 18 heraus, was durch ein längeres Ätzen hervorgerufen wurde. Durch diese Maßnahme wird praktisch eine Dickenschwankung der Schicht des Halbleitermaterials 12 beziehungsweise des Halbleiterwafers 14 simuliert. In den Abb. 4c, d sind jeweils eine inverse Pyramide 30 des darüberliegenden Arrays 4a, b vergrößert dargestellt, wobei durch vorsichtiges

Anätzen der Oxidschicht 26 Aperturen 10 im Bereich von 160 nm erzeugt worden sind. Obwohl in diesem Beispiel durch unterschiedliche Ätzraten Dickenschwankungen des Halbleiterwafers 14 von ca. 2 Mikrometer simuliert worden sind, unterscheiden sich die Dimensionen der Aperturen 10 in den Fällen Fig. 4a, c im Vergleich zu den Fällen 4b, d praktisch nicht. Somit ist auch experimentell ein Nachweis darüber geführt, daß nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Aperturen 10 bezüglich der Dimensionierung der Aperturen 10 äußerst reproduzierbar und insbesondere unabhängig von Dickeschwankungen des Halbleiterwafers 14 herstellbar sind.

In Fig. 5 sind schematisch die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung eines Apertursensors dargestellt. In Fig. 5a ist die Definition und das Resultat des Ätzvorganges der inversen Pyramide 30 wiedergegeben. In Fig. 5b wird die Cantilever-beziehungsweise Biegebalkenstruktur in den erneut oxidierten und vorbehandelten Halbleiterwafer 14 übertragen. Gemäß Fig. 5c ist die Umgebung des Biegebalkens beziehungsweise Cantilevers abgesenkt und die verbliebene Oxidschicht 26 mit Ausnahme des Bereichs der Vertiefung 20 entfernt. Fig. 5d zeigt eine Aufsicht auf den Halbleiterwafer 14, gemäß Fig. 5e wird das Halteelement in der Oxidschicht eines zweiten Halbleiterwafers 14 definiert. Mittels anisotropen Ätzens wird gemäß Fig. 5f das in einem Rahmen fixierte Halteelement erzeugt. Fig. 5g zeigt eine Aufsicht auf den zweiten Halbleiterwafer. In Fig. 5h ist in einer Schnittdarstellung dargestellt, wie beide Halbleiterwafer gefügt und mit einer Siliziumnitrid-Schicht versehen sind. Fig. 5i zeigt die Trennung des Biegebalkens beziehungsweise Cantilevers von dem Substrat mittels eines anisotropen Ätzschritts. Die Siliziumnitrid-Schicht wird entfernt. Ein Metallisierungsprozeß mit Aluminium beendet den Herstellungsprozeß.

Die entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Aperturen können als Ausgangspunkt für die Realisierung verschiedenartiger mikromechanischer Bauelemente benutzt werden. Da die Öffnungsgröße gezielt und reproduzierbar beispielsweise bei einem Array eingestellt werden kann, ist zum Beispiel eine Anwendung zur Größentrennung von Partikeln in einer siebförmigen Anordnung einer Vielzahl von Aperturen 10 möglich. Ebenso können diese Aperturen 10 zur Injektion kleinster Gas- oder Flüssigkeitsmengen oder dergleichen in der Medizin, Biologie und Chemie eingesetzt werden. Ein anderer wichtiger Anwendungsfall ist in der Sensorik zu sehen.

Werden die Öffnungen in die hohle Spitze von Biegebalkensonden (Cantilever) integriert, so lassen sich diese als Ausgangselement für die Realisierung verschiedener Sonden für die Messung unterschiedlichster physikalischer und chemischer Parameter in der Rastersondenmikroskopie benutzen.

Cantileversonden sind einseitig eingespannte Biegebalken mit einer am Ende des Balkens integrierten Spitze, die über eine zu untersuchende Probenoberfläche gerastert wird, um die Topographie und zusätzliche physikalische und/oder chemische Eigenschaften von Probenoberflächen in verschiedenster Umgebung, zum Beispiel Luft, Vakuum, Flüssigkeiten, zu untersuchen.

Beispielsweise kann eine miniaturisierte Öffnung in einer hohlen Spitze für die Untersuchung der optischen Oberflächeneigenschaften auf der Basis der optischen Rasternahfeldmikroskopie (SNOM) benutzt werden. Dabei kann die die Öffnung beziehungsweise Apertur tragende Spitze in einem Cantilever integriert oder als Element auf einer optischen Faser aufgeklebt sein. Zur Verbesserung der optischen Eigenschaften können die spitzenförmigen Aperturen mit dünnen Metallspitzen verstärkt werden. Die Vertiefungen

mit den Öffnungen können im gleichen Zweck auch spalten- und zeilenweise in Biegebalken oder planen Substraten angeordnet werden, um eine parallele Arbeitsweise, zum Beispiel für die parallele Bildaufnahme oder die parallele Datenspeicherung mit Hilfe der SNOM zu erreichen.

Wird eine mit einem Material von oben beschichtete Spitze von der Unterfläche 18 ebenfalls beschichtet, so können in dieser Weise kleinster Kontakte realisiert werden, die im wesentlichen die Größe der Apertur 10 aufweisen. Diese Art von Kontakten können in vielfältiger Weise für in die Spitze integrierte Sensorelemente benutzt werden. Ein typisches Beispiel ist ein Metall/Metall oder Metall/Halbleiterkontakt, der als Thermoelement zur lokalen Temperaturmessung nutzbar ist.

Wird die Spitze der Oxidschicht 26 von der Unterfläche 18 mit einer metallischen Schicht versehen, so kann in Abhängigkeit von der Dicke der Metallschicht die Oxidöffnung nach oben verschlossen werden. Im Bereich der Spitze bleibt jedoch ein miniaturisiertes Behältnis im Bereich von Attolitern. Zur elektrischen Isolierung dieser Metallschicht gegenüber der Umgebung wird ein dünner dielektrischer Film, zum Beispiel Siliziumnitrid oder Siliziumoxid, von der Rückseite des Biegebalkens aufgedampft. Der Sensor kann so in flüssiger Umgebung betrieben und mittels der isolierten Metallschicht ein galvanischer Strom gemessen werden, der nur an der vorderen metallischen Spitze vorliegt. Diese Sonden können, beispielsweise wiederum in Spitzen integriert, als Sonden für die elektrochemische Untersuchung von Oberflächen auf der Basis der Scanning Electrochemical Microscopy (SECM) eingesetzt werden.

Werden Oxidstrukturen mit schneidenförmiger Spitzenstruktur hergestellt, so lassen sich gegebenenfalls zwei Öffnungen in die Spitze der Oxidschicht beziehungsweise den Bodenbereich 24 einätzen. Dabei sind die beiden Aperturen 10 durch einen Oxidsteg voneinander getrennt. Dieser miniaturisierte Steg kann mit einem weiteren Material, zum Beispiel Metall, halbleitenden Materialien, organischen Materialien oder dergleichen, beschichtet werden. So läßt sich in einfacher Weise ein balkenförmiger, miniaturisierter elektrischer Leiter herstellen. Diese Anordnung kann zum Beispiel für die thermische Rastersondenmikroskopie (SThM) ausgenutzt werden, indem der von der Temperatur abhängige Widerstand der Leiterbahn zur Messung der lokalen Proben temperatur eingesetzt wird.

Werden Oxidstrukturen mit plateau förmiger Struktur an der zulaufenden Seite des Stumpfes der Oxidschicht 26 hergestellt, so lassen sich gegebenenfalls vier Öffnungen in die Spitze der Oxidschicht 26 einätzen. Die vier Öffnungen sind dabei durch eine kreuzförmige Oxidstruktur voneinander getrennt. Dieses miniaturisierte Kreuz kann dann mit einem weiteren Material, zum Beispiel Metall, halbleitenden Materialien, organischen Materialien oder dergleichen, beschichtet werden und als miniaturisierte Hohlsonde zur Messung von Magnetfeldern verwendet werden. Ebenso besteht die Möglichkeit, die matrixförmige Anordnung der Aperturen 10 auf planen Substraten oder der Spitzen beziehungsweise Bodenbereichen 24 auf strukturierten Oberflächen, zum Beispiel Cantilevern, für die Injektion von sehr kleinen, exakt dosierten Flüssigkeitsmengen zu benutzen.

Insgesamt besteht der Vorteil der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren entwickelt zu haben, welches es ermöglicht, an jeder Spitze beziehungsweise an jedem Bodenbereich 24 der Oxidschicht 26, gezielt die Größe der herzustellenden Apertur 10 zu bestimmen. Dies wird dadurch bewerkstelligt, daß durch den Stress in der Oxidschicht 26 an der Spitze, das heißt im Bereich der größten Krümmung eine lokal definierte, höhere Ätzrate realisierbar ist. Somit kann durch die spezielle Wahl der Ätzzeit die geätzte Oxid-

schichtdicke im Bereich der Spitze beziehungsweise des Bodenbereichs 24 bestimmt werden, so daß Dickenschwankungen der Halbleiterwafer 14 keinen Einfluß auf die Größe der Apertur 10 haben.

#### Bezugszeichenliste

- 10 Apertur
- 12 Halbleitermaterial
- 14 Halbleiterwafer
- 16 Oberfläche
- 18 Unterfläche
- 20 Vertiefung
- 22 Seitenwand
- 24 Bodenbereich
- 26 Oxidschicht
- 28 Inhomogenität
- 30 inverse Pyramide
- 32 Array
- 34 Innenwandung
- 36 Metallschicht
- 38 Biegebalken

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Apertur (10) in einem Halbleitermaterial (12), mit folgenden Schritten: Bereitstellen eines Halbleiterwafers (14), beispielsweise eines (100)-orientierten Siliziumwafers, mit einer Oberfläche 16 und einer Unterfläche 18, Erzeugen einer Vertiefung (20) mit einer Seitenwand (22) in der Oberfläche (16) des Halbleiterwafers (14) durch partielles Anätzen der Oberfläche (16), **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vertiefung (20) einen der Unterfläche (18) zugewandten, geschlossenen Bodenbereich (24), bevorzugt mit insbesondere einer konvexen oder insbesondere einer konkaven Ecke oder Kante oder dergleichen Krümmung, aufweist, Aufbringen einer Oxidschicht (26) auf dem Halbleitermaterial (12) wenigstens im Bereich der Vertiefung (20) durch Oxidation des Halbleitermaterials (12), wobei die Oxidschicht (26) wenigstens im Bodenbereich (24) eine Inhomogenität (28) aufweist, selektives Rückätzen des Halbleitermaterials (12) an der Unterfläche (18) des Halbleiterwafers (14) bis zum Freilegen wenigstens der im Bodenbereich (24) befindlichen Oxidschicht (26), Anätzen der freigelegten Oxidschicht (26) bis wenigstens zu deren Durchtrennung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefung (20) die Form einer inversen Pyramide (30) oder eines V-förmigen Grabens oder eines inversen Pyramidenstumpfes oder eine Plateauförmigkeit aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Vertiefungen (20), zum Beispiel in Form eines Arrays (32), auf der Oberfläche (16) des Halbleiterwafers (14) erzeugt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidschicht (26) im Bodenbereich (24) als Inhomogenität eine oder mehrere Schwachstellen oder Verjüngungen aufweist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidschicht (26) nach dem Durchtrennen einem Metallisierungsprozeß, insbesondere mit Aluminium, unterworfen wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Durch-

messer der Apertur (10) Größenordnung von ca. 100 nm oder weniger liegt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen (20) durch anisotropes Ätzen erzeugt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidschicht (26) durch Erhitzen des Halbleiterwafers (14) auf ca. 900°C, in bevorzugt feuchter Atmosphäre für ca. 2 Stunden erzeugt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das selektive Rückätzen des Halbleitermaterials (12) isotrop oder anisotrop, zum Beispiel mittels einer KOH-Lösung, insbesondere ca. 40 Gew.-%, bei bevorzugt ca. 60°C erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das selektive Rückätzen des Halbleitermaterials (12) solange erfolgt, bis die Oxidschichten (26) bevorzugt im wesentlichen aller oder wenigstens einer Mehrzahl der Vertiefungen (20) freigelegt sind.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Anätzen der freigelegten Oxidschicht (26) mit Ammoniumfluoridpuffer, insbesondere 1 Puffer : 16 Wasser, durchgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe der Apertur (10) im wesentlichen durch die Dauer des Anätzens der Oxidschicht (26) nach deren Durchtrennung hin zu größeren Werten varierbar ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefung (20) schneidenförmig beziehungsweise plateauförmig zulaufend ausgebildet ist und insbesondere je Vertiefung zwei beziehungsweise vier Aperturen (10) hergestellt werden.

14. Apertur (10) in einem Halbleitermaterial (12) hergestellt nach insbesondere einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertur (10) durch eine auf einer Innenwandung (34) einer Durchbrechung im Halbleitermaterial (12) befindlichen Oxidschicht (26) gebildet ist.

15. Apertur in einem Halbleitermaterial nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Oxidschicht (26) eine Halbleiterschicht und/oder eine organische Materialschicht und/oder eine Metallschicht (36), insbesondere eine Aluminiumschicht, aufgebracht ist/sind.

16. Apertur nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidschicht (26) aus einem Oxid des Halbleitermaterials (12) gebildet ist.

17. Verwendung einer Apertur nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitermaterial (12) mit der Apertur (10) insbesondere in dem vorderen Bereich eines einseitig eingespannten Biegebalkens (38), insbesondere eines sogenannten Cantilevers, integriert sind.

18. Verwendung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Biegebalken (38) einzeln oder eine Mehrzahl von Biegebalken (38) in einer Matrixanordnung als Sensorelement beziehungsweise Sensorelemente eingesetzt werden.

19. Verwendung nach einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die Biegebalken (38) als Sensorelemente in der Rastersondenmikroskopie eingesetzt werden.

20. Verwendung nach einem der vorhergehenden An-

sprüche 17 bis durch gekennzeichnet, daß durch Deposition einer dünnen, optisch insbesondere wenig transparenten Schicht der oder die Biegebalken (38) für die simultane Rasterkraftmikroskopie (AFM, SFM) oder die optische Rasternahfeldmikroskopie (SNOM) eingesetzt werden, wobei bei einer Beleuchtung der Apertur (10) von der Oberfläche (16) des Halbleiterwafers (14) die Apertur (10) als miniaturisierte Lichtquelle im optischen Nahfeldbereich eingesetzt (sogenannter Illuminationmode) oder durch die Apertur (10) Lichtleistung von der beleuchteten Probe aufgenommen wird (sogenannter Collectionmode).

21. Verwendung nach einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß durch sequentielle Deposition von Materialien, wie Metalle, Halbleiter, Polymere oder dergleichen auf der Oberfläche (16) und/Unterfläche (18) des Biegebalkens (38) eine miniaturisierte Kontaktstelle der Materialien an der Stelle der Apertur (10) erhalten wird.

22. Verwendung einer Apertur (10) nach einem der Ansprüche 14

bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine matrixförmige Anordnung mehrerer Aperturen (10) beispielsweise in Form eines Arrays (32) auf planen Substraten beziehungsweise strukturierten Oberflächen, wie zum Beispiel Cantilevern oder dergleichen, zur Größensortierung von Partikeln nach Art eines Siebes eingesetzt wird.

23. Verwendung einer Apertur (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine insbesondere matrixförmige Anordnung einer oder mehrerer Aperturen (10) auf planen Substraten oder auf strukturierten Oberflächen, zum Beispiel Cantilevern oder dergleichen, für die Dosierung und/oder Injektion von exakten, sehr kleinen Flüssigkeits- oder Gasmengen eingesetzt wird.

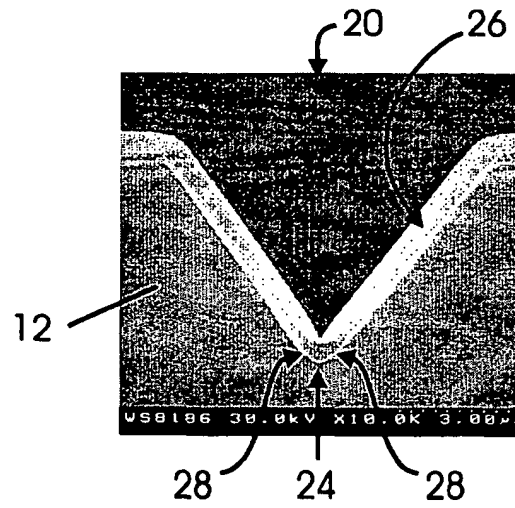
---

Hierzu 6. Seite(n) Zeichnungen

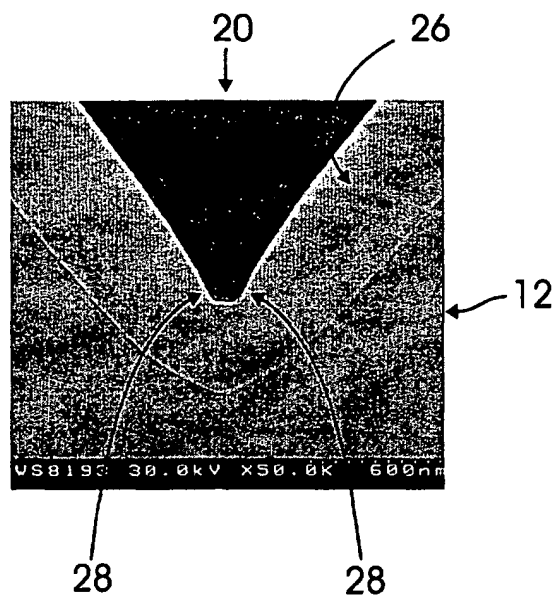
---



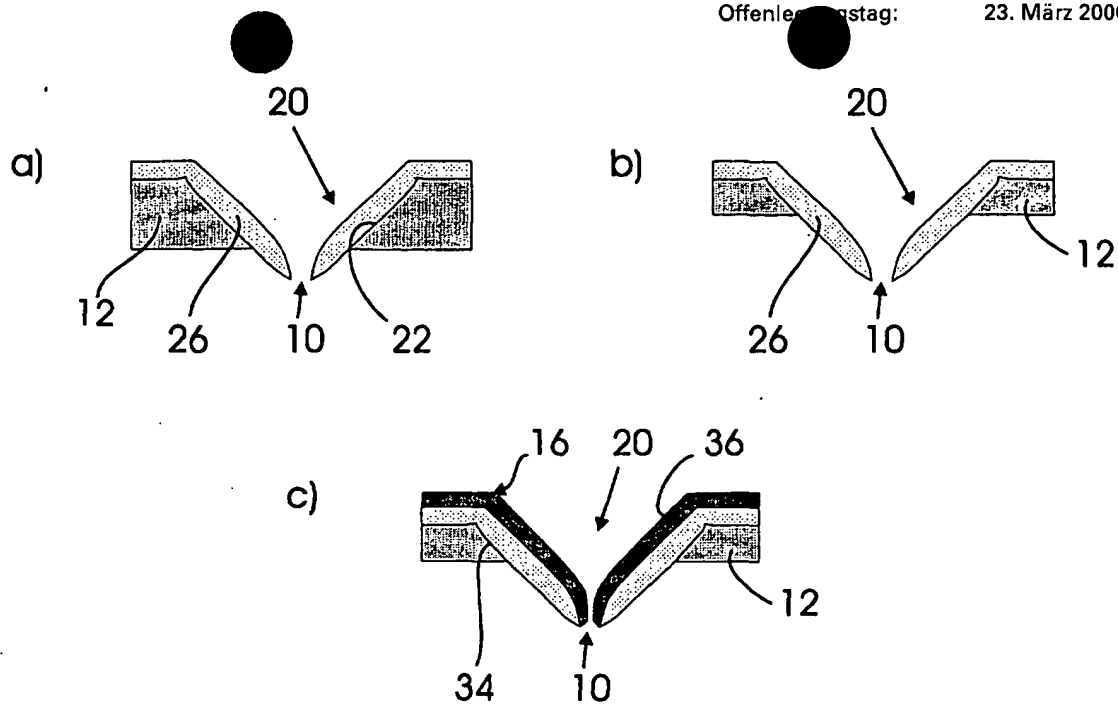
- Leerseite -



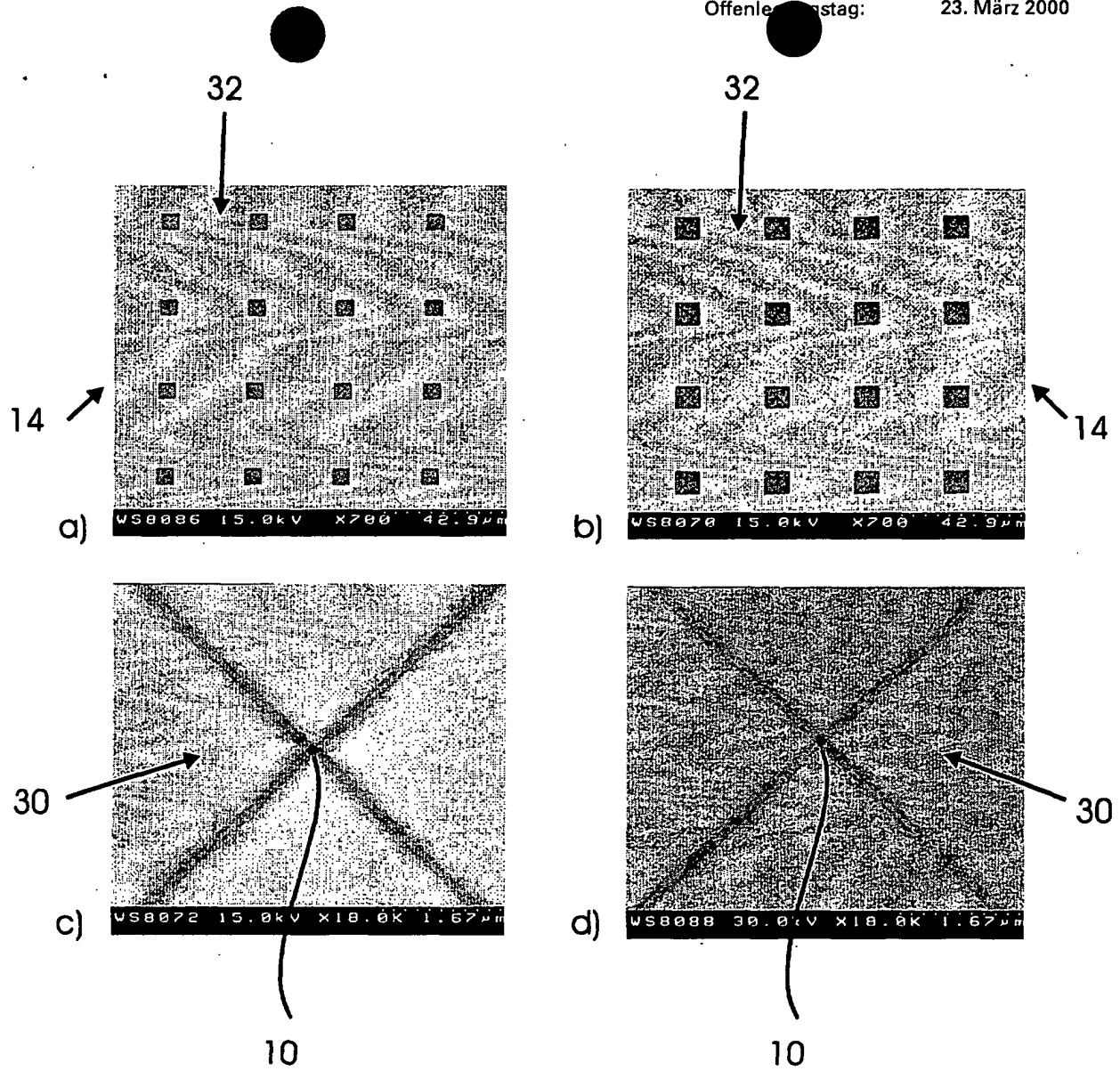
Figur 1



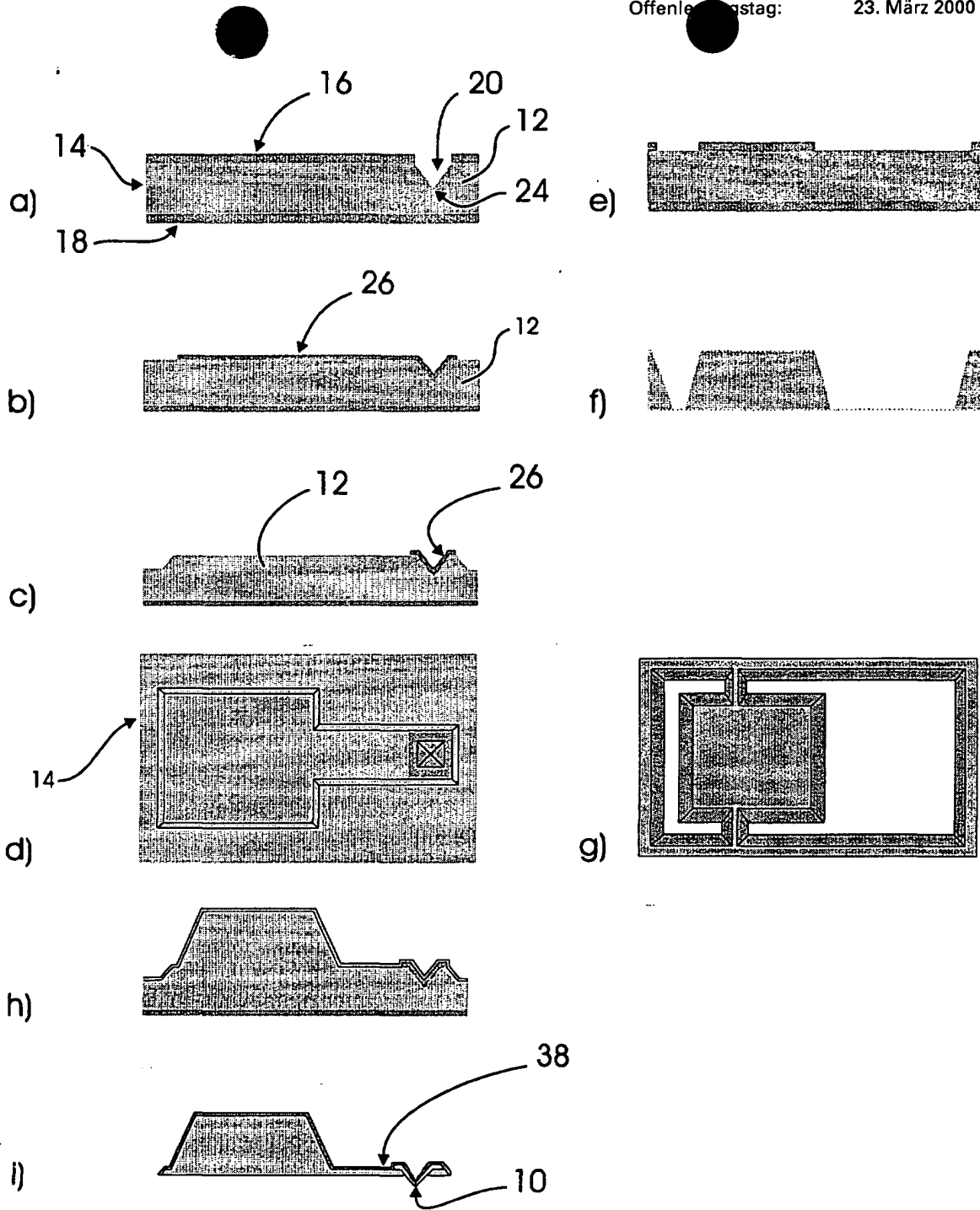
Figur 2



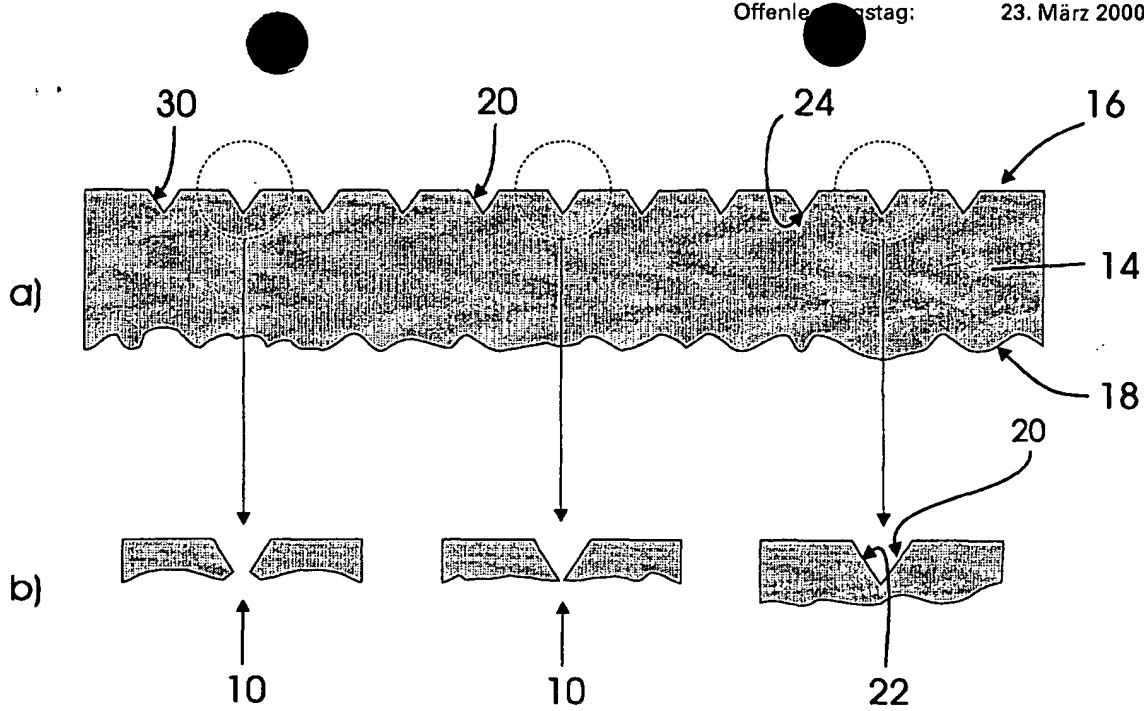
Figur 3



Figur 4



Figur 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**